International Science Journal of Engineering & Agriculture
2022; 1(5): 122-131
https://isg-journal.com/isjea/
doi: 10.46299/j.isjea.20220105.13
ISSN: 2720-6319

INTERNATIONAL SCIENCE GROUP

Навантаження та режими роботи колісних тракторів

Роман Антощенков
Кафедра мехатроніки та деталей машин, Державний біотехнологічний університет
ORCID 0000-0003-0769-7464

Сергій Богданович
Кафедра мехатроніки та деталей машин, Державний біотехнологічний університет
ORCID 0000-0002-0527-4102

Іван Галич
Кафедра мехатроніки та деталей машин, Державний біотехнологічний університет
ORCID 0000-0002-9137-036X

Галина Череватенко
Кафедра мехатроніки та деталей машин, Державний біотехнологічний університет
ORCID 0000-0002-8972-3875

Для цитування цієї статті:
Антощенков Роман, Богданович Сергій, Галич Іван, Череватенко Галина. Навантаження та режими роботи колісних тракторів. International Science Journal of Engineering & Agriculture Vol. 1, No. 5, 2022, pp. 122-131. doi: 10.46299/j.isjea.20220105.13.
Надійшла до редакції: 19 вересня 2022 р.; **Схвалено:** 04 жовтня 2022 р.;
Опубліковано: 01 грудня 2022 р.

Анотація: Надзвичайною різноманітністю умов характеризується робота трактора у сільськогосподарському виробництві. Визначено, що найбільший вплив на режими роботи трактора мають ґрунтово-кліматичні умови, раціональність комплектування тракторних агрегатів, рівень культури землеробства, стан доріг у господарстві, обґрунтованість використання тракторів на тих чи інших роботах, кваліфікація водіїв та багато інших факторів. Тягове навантаження на гаку трактора є нестаціонарною випадковою функцією часу. Встановлено, що характеристики тягового навантаження залежать від складу агрегату, виконуваної роботи, неоднорідності фізичних властивостей ґрунту та мікрорельєфу поверхні поля або дороги. Визначено математичні очікування потужності, що витрачається двигуном при розгляді всього комплексу сільськогосподарських машин $\overline{m}\,(N_д)$ = 48,75 к.с. Для сільськогосподарських машин, що працюють без відбору потужності через вал відбору потужності $\overline{m}\,(N_д)$ = 49 к.с. Експериментальна крива розподілу дійсних швидкостей руху агрегатів показує, що середня швидкість машин, що працюють без відбору потужності через вал відбору потужності, становить $\overline{m}\,(n_д)$ = 2,13 м/с (7,7 км/год). Встановлено, що при роботі з ґрунтообробними та збиральними машинами швидкість не перевищує 3,34 м/с (12 км/год). Середнє значення тягового зусилля для трьох серій експериментальних досліджень сівалки Вега-8 складало $P_{ср}$ = 18 кН. При швидкості руху υ = 1,45 м/с розмах коливань тягового зусилля сівалки складав ΔP = 13269 Н, а з підвищенням швидкості до 2,3 м/с розмах коливань тягового зусилля підвищився до 18305 Н. Максимальне значення розмаху 20842 Н спостерігається на швидкості 4 м/с

Ключові слова: трактор, сільськогосподарська машин, двигун, вал відбору потужності, потужність, навантаження, швидкість, режими роботи.

1. Вступ

Робота трактора у сільськогосподарському виробництві характеризується надзвичайною різноманітністю умов. Найбільший вплив на режими роботи трактора мають ґрунтово-кліматичні умови, раціональність комплектування тракторних агрегатів, рівень культури землеробства, стан доріг у господарстві, обґрунтованість використання тракторів на тих чи інших роботах, кваліфікація водіїв та багато інших факторів. За виконання трактором сільськогосподарських операцій опір руху агрегату безупинно змінюється. Тягове навантаження на гаку трактора носить різко змінний, коливальний характер. По суті воно є нестаціонарною випадковою функцією часу. Характеристики тягового навантаження залежать від складу агрегату, виконуваної роботи, неоднорідності фізичних властивостей ґрунту та мікрорельєфу поверхні поля або дороги.

2. Мета дослідження

Метою дослідження є аналіз результатів експериментальних досліджень машинно-тракторних агрегатів щодо умов функціонування, режимів навантажень та енергетичних показників.

3. Результати досліджень

3.1. Результати досліджень потужності двигунів внутрішнього згоряння

Залежно від виду виконуваних робіт потужність двигуна універсально-просапного трактора може витрачатися на подолання тільки тягового опору, подолання тягового опору і відбір потужності через синхронний або незалежний вал відбору потужності (ВВП), на передачу всієї потужності тільки через ВВП [1–3].

На підставі статистичного аналізу встановлено розподіл часу роботи колісного трактора тягово класу 1,4 кН за основними видами робіт для різних ґрунтово-кліматичних зон (табл. 1).

Таблиця 1. Розподіл часу роботи колісного трактора тягово класу 1,4 кН за основними видами робіт, %

Зона робіт	Робота		
	Транспортна	Обробка ґрунту, посів, міжрядна обробка	Прибирання та робота з машинами, що працюють від ВВП
Зона I	53,2	24,0	19,6
Зона II	42,2	32,5	17,1
Зона III	52,7	35,0	17,1
Зона IV	56,6	10,1	11,3
Зона V	72,9	11,2	19,8
Зона VI	44,8	16,7	35,1
Середнє значення	54,0	21,6	20,0

Щоб визначити, як використовується потужність двигуна при роботі з комплексом сільськогосподарських машин, побудовано криві (рис. 1) розподілу тягової потужності для 84 сільськогосподарської машини, що працюють без відбору потужності на привід робочих органів через незалежний ВВП, та для 67 сільськогосподарських машин, у яких частина потужності відбирається через незалежний ВВП (табл. 2).

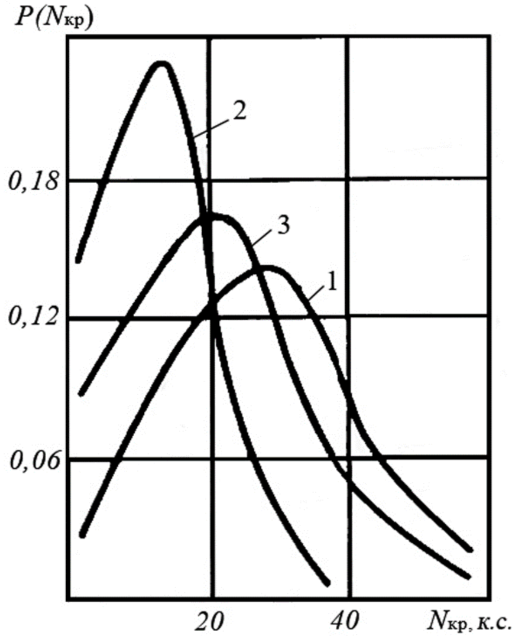


Рисунок 1. Криві розподілення тягової потужності трактора, що працює із сільськогосподарськими машинами:
1 – без відбору потужності через незалежний ВВП; 2 – з відбором потужності через незалежний ВВП; 3 – з незалежним ВВП та без ВВП.

Таблиця 2.Використання тягової потужності трактора під час роботи з різними сільськогосподарськими машинами

Комплекс сільськогосподарських машин	Середнє значення потужності двигуна, $\overline{m}$ ($N_д$), кВт, (к.с.)	Середнє квадратичне відхилення потужності двигуна, σ ($N_д$), кВт (к.с.)
Працює без відбору потужності через незалежний ВВП	19,90(26,91)	9,50 (12,92)
Працює з відбором потужності через незалежний ВВП	10,10 (13,80)	6,28 (8,55)
Працює з незалежним ВВП та без ВВП	15,90 (21,63)	9,46 (13,00)

На рис. 2 наведено розподіл потужності, що відбирається через ВВП, для 61 сільськогосподарської машини. За цими даними для колісного трактора тягово класу 1,4 кН були побудовано сумарні криві розподілу потужності, що витрачається двигуном при агрегатуванні з 84 сільськогосподарськими машинами, що не потребують відбору потужності через ВВП, і для всього комплексу зі 151 сільськогосподарської машини (рис. 3) [2].

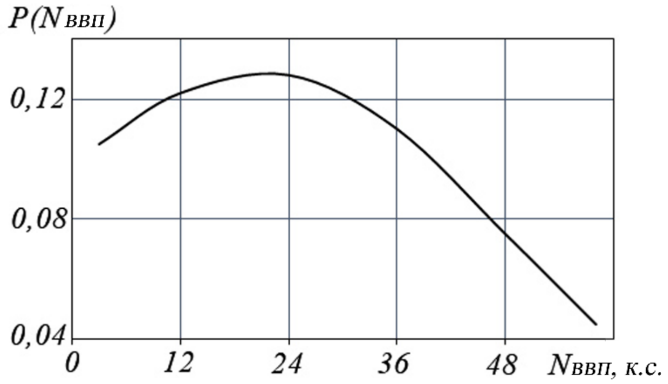


Рисунок 2. Крива розподілу потужності, що відбирається через ВВП.

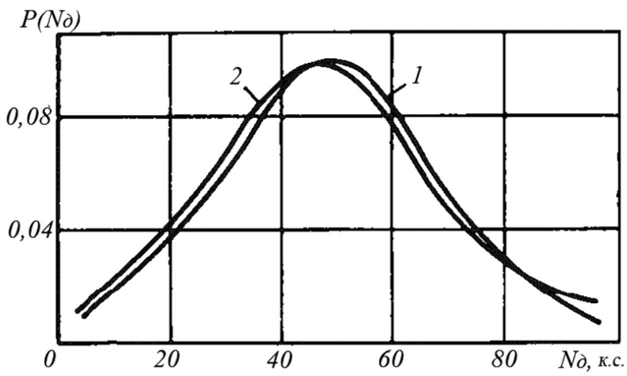


Рисунок 3. Сумарні криві розподілу потужності двигуна трактора:
1 – при роботі з сільськогосподарськими машинами, що працюють без відбору потужності через ВВП; 2 – з комплексом сільськогосподарських машин, що працюють з відбором потужності через ВВП.

Отримані дані дозволили обчислити математичні очікування потужності, що витрачається двигуном при розгляді всього комплексу сільськогосподарських машин $\overline{m}$ ($N_д$) = 48,75 к.с. Для сільськогосподарських машин, що працюють без відбору потужності через ВВП, $\overline{m}$ ($N_д$) = 49 к.с. Отже, в обох випадках математичні очікування $\overline{m}$ ($N_д$) практично однакові. Середнє завантаження двигуна при номінальній потужності 80 к.с. склало 61%, а завантаження двигуна в діапазоні потужності $\overline{m}$ ($N_д$) ± σ ($N_д$) відповідно 21,2 та 19,6 к.с. (сюди входять 73,7% розглянутих машин, що завантажуються на 87,5-34,5%). Лише 13% сільськогосподарських машин завантажують двигун більш ніж на 95%.

3.2. Результати досліджень потужності двигунів внутрішнього згоряння

Гістограми розподілу потужностей двигуна $N_д$ та питомих опорів плугів трактора тягового класу 3,0 кН наведено на рис. 4 та рис. 5.

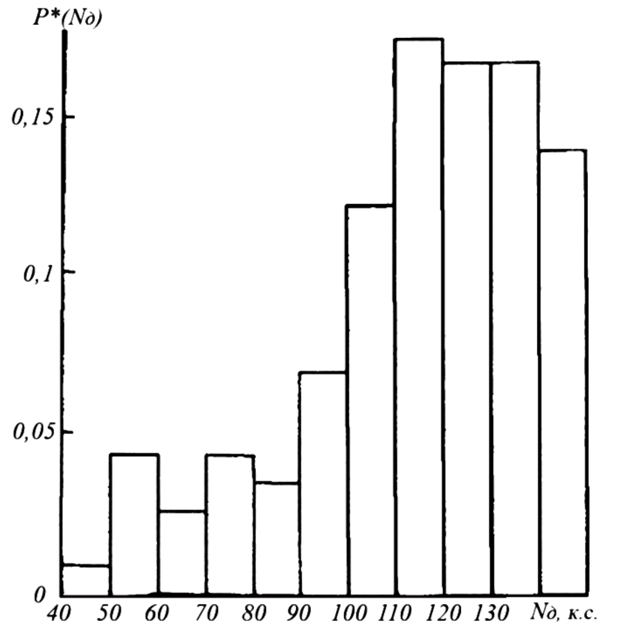


Рисунок 4. Гістограма розподілу потужності двигуна.

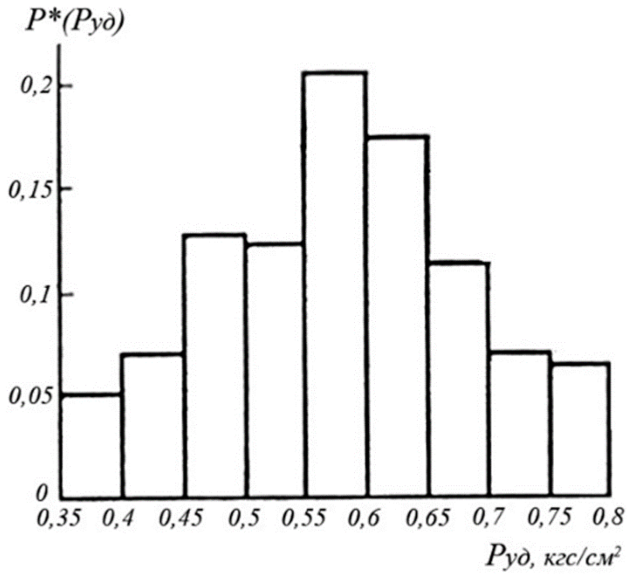


Рисунок 5. Гістограма розподілу питомого опору плугів.

При цьому тяговий ККД трактора приймали рівним: на стерні – 0,62; на полі, підготовленому під посів – 0,42; на ґрунтовій дорозі – 0,79.

3.3. Результати досліджень розподілу дійсних швидкостей руху агрегатів

Експериментальна крива розподілу дійсних швидкостей руху агрегатів (рис. 6) показує, що середня швидкість машин, що працюють без відбору потужності через ВВП, становить $\overline{m}$ ($n_д$) = 2,13 м/с (7,7 км/год). Встановлено також, що при роботі з ґрунтообробними та збиральними машинами швидкість не перевищує 3,34 м/с (12 км/год) [3].

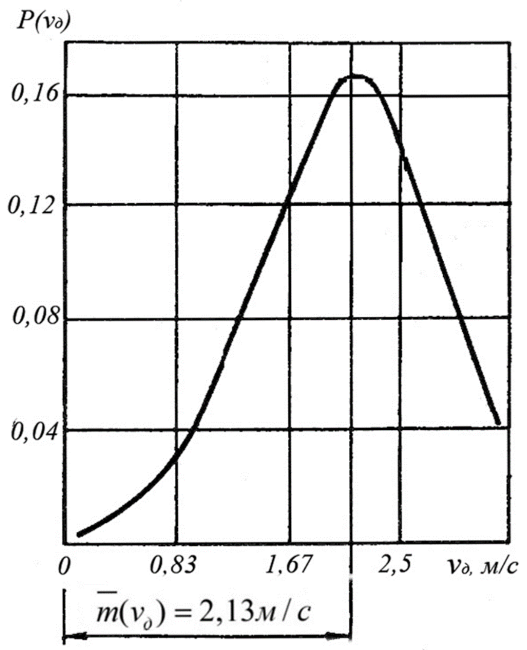


Рисунок 6. Розподіл дійсних швидкостей трактора.

Проведені дослідження показали, що при роботі універсально-просапного трактора з багатьма сільськогосподарськими машинами двигун може працювати зі значним недовантаженням або на максимальному швидкісному режимі, або на часткових характеристиках, якщо не використовується відбір потужності через ВВП. Однією з основних причин недовикористання потужності двигуна є обмеження робочих швидкостей агрегатів.

3.4. Результати досліджень тягового зусилля сільськогосподарських агрегатів

Дослідження тягового зусилля сільськогосподарських агрегатів відбувались з використанням вимірювальної системи динаміки та енергетики мобільних машин [4–6]. Конструкція вимірювальної системи описано у роботі [7]. Алгоритми обробки даних вимірювальною системою описано у роботах [8–10].

Результатами експериментальних досліджень посівного агрегату визначено залежності тягового зусилля сівалки Вега-8 (ПАТ Ельворті) (рис. 7) для яких визначено спектральні щільності тягового зусилля (рис. 8). Методи визначення спектральних щільностей тягового зусилля описано у роботах [11–13].

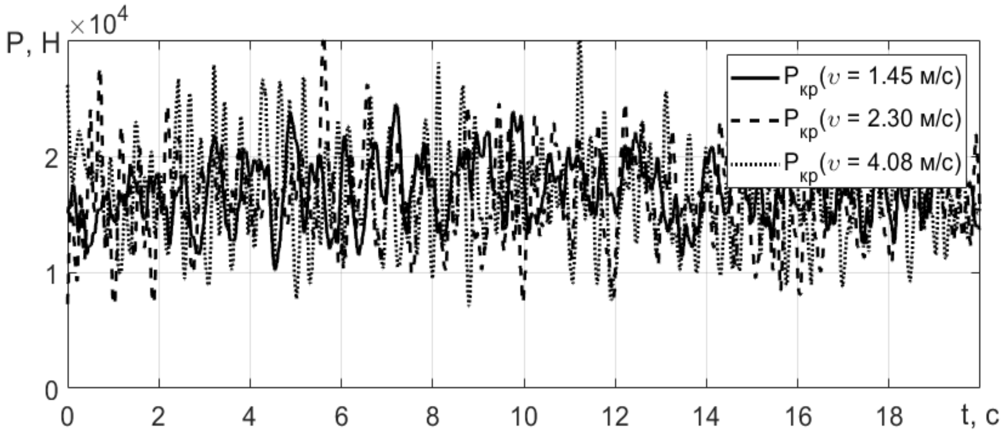


Рисунок 7. Залежності тягового зусилля сівалки від часу.

Середнє значення тягового зусилля для трьох дослідів складало $P_{ср}$ = 18 кН (рис. 7). При швидкості руху υ = 1,45 м/с розмах коливань тягового зусилля сівалки складав ΔP = 13269 Н. З підвищенням швидкості до 2,3 м/с розмах коливань тягового зусилля підвищився до 18305 Н, а максимальне значення розмаху 20842 Н спостерігається на швидкості 4 м/с [7–9].

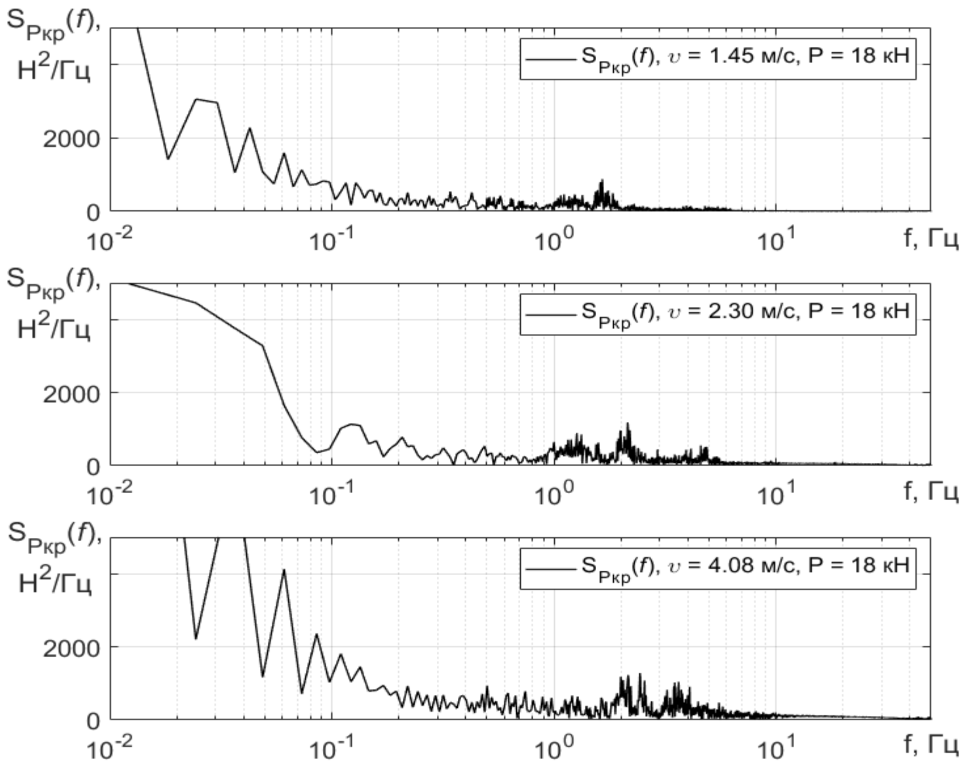


Рисунок 8. Спектральні щільності тягового зусилля сівалки.

На частотах до 10^{-1} Гц спостерігається підвищення амплітуди спектральної щільності тягового зусилля сівалки до 5000 $Н^2$/Гц (рис. 8) [5]. При русі зі швидкістю 1,45 м/с спостерігається гармоніка на частоті 1,61 Гц зі значення 770 $Н^2$/Гц ($S_{Pкр}(1,61)$ = 770 $Н^2$/Гц). Підвищення швидкості руху до 2,3 м/с приводить до появлення трьох гармонік на частотах 1,33 Гц; 2,14 Гц та 4,88 Гц – $S_{Pкр}(1,33)$ = 852 $Н^2$/Гц, $S_{Pкр}(2,14)$ = 1182 $Н^2$/Гц, $S_{Pкр}(4,88)$ = 517 $Н^2$/Гц. При швидкості руху 4,08 м/с також спостерігається три гармоніки на частотах 2,17 Гц; 2,44 Гц та 3,64 Гц – $S_{Pкр}(2,17)$ = 1104 $Н^2$/Гц, $S_{Pкр}(2,14)$ = 1208 $Н^2$/Гц, $S_{Pкр}(3,64)$ = 1040 $Н^2$/Гц. Амплітуди спектральної щільності підвищуються при підвищенні швидкості руху.

Показники спектральних щільностей тягового зусилля сільськогосподарських агрегатів відповідають результатам отриманих в інших роботах (для інших сільськогосподарських тракторів та машин) [14, 15].

4. Висновки

1. Найбільший вплив на режими роботи трактора мають ґрунтово-кліматичні умови, раціональність комплектування тракторних агрегатів, рівень культури землеробства, стан доріг у господарстві, обґрунтованість використання тракторів на тих чи інших роботах, кваліфікація водіїв та багато інших факторів. Тягове навантаження на гаку трактора носить різко змінний, коливальний характер, тобто являється нестаціонарною випадковою функцією часу.

2. Характеристики тягового навантаження залежать від складу агрегату, виконуваної роботи, неоднорідності фізичних властивостей ґрунту та мікрорельєфу поверхні поля або дороги.

3. Математичні очікування потужності, що витрачається двигуном при розгляді комплексу сільськогосподарських машин складає $\overline{m}$ ($N_д$) = 48,75 к.с. Для сільськогосподарських машин, що працюють без відбору потужності через ВВП, $\overline{m}$ ($N_д$) = 49 к.с. Середнє завантаження двигуна при номінальній потужності 80 к.с. склало 61%, а завантаження двигуна в діапазоні потужності $\overline{m}$ ($N_д$) ± σ ($N_д$) відповідно 21,2 та 19,6 к.с. Встановлено, що лише 13% сільськогосподарських машин завантажують двигун більш ніж на 95%.

4. Середня швидкість машин, що працюють без відбору потужності через ВВП, становить $\overline{m}$ ($n_д$) = 2,13 м/с. Встановлено також, що при роботі з ґрунтообробними та збиральними машинами швидкість не перевищує 3,34 м/с.

5. Середнє значення тягового зусилля сівалки Вега-8 для трьох серій дослідів складало $P_{ср}$ = 18 кН. При швидкості руху υ = 1,45 м/с розмах коливань тягового зусилля сівалки складав ΔP = 13269 Н. З підвищенням швидкості до 2,3 м/с розмах коливань тягового зусилля підвищився до 18305 Н, а максимальне значення розмаху 20842 Н спостерігається на швидкості 4 м/с.

Список літератури:

1) Ксеневич И. П., Тарасик В. П. (1979). Системы автоматического управления ступенчатыми трансмиссиями тракторов. *М.:Машиностроение, 280.*

2) Ксеневич И. П., Солонский А. С., Мелешко М. Г. (1974). Анализ и перспективы развития устройств переключения передач тракторных трансмиссий. *М.: ЦНИИТЭИ тракторосельхозмаш*, 40.

3) Лурье А. Б. (1970). Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. *М.–Л.: Колос*, 376.

4) Galych, I., Antoshchenkov, R., Antoshchenkov, V., Lukjanov, I., Diundik, S., & Kis, O. (2021). Study of the dynamics of the machine-tractor unit with taking into account the influence of the profile of the support surface. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 1, № 7 (109)*, 51–62.

5) Шаповалов Ю. К., Мельник В. І., Антощенков Р. В., Антощенков В. М., Кісь В. М, Циганенко М. О., Галич І. В. (2018). Результати експериментальних досліджень тягової динаміки трактора ХТЗ-242К. *Інженерія природокористування*, 6–15.

6) Мельник В. І., Антощенков Р. В., Антощенков В. М., Кісь В. М., Галич І. В. (2019). Результати експериментальних досліджень тягової динаміки трактора ХТЗ-243К. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.*(Вип. 198. 2019), 181–187.

7) Антощенков Р. В. (2017). *Динаміка та енергетика руху багатоелементних машинно-тракторних агрегатів: монографія.* Харків: Х.: ХНТУСГ.

8) Antoshchenkov, R., Halych, I., Nikiforov, A., Cherevatenko, H., Chyzhykov, I., Sushko, S., Ponomarenko, N., Diundi, S., Tsebriuk, I. (2022). Determining the influence of geometric parameters of the traction-transportation vehicle's frame on its tractive capacity and energy indicators. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2(7-116), 60-61.

9) Галич І. В., Антощенков Р. В. (2017). До аналізу впливу коливань елементів машинно-тракторного агрегату на динамічні та експлуатаційні показники. *Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспо-ртного комплексів»* (№9. 2017), 103-107.

10) Антощенков Р. В., Антощенков В. М., Кашин Д. В. (2015). Аналіз експериментальних досліджень динаміки буксування рушіїв гусеничних та колісних тракторів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету, 3*(15), 80-85.

11) Ксеневич И. П., Гуськов В. В., Бочаров Н. Ф. (1991). Тракторы. Проектирование, конструирование и расчет. (И. П. Ксеневич, Ред.) *М.:Машиностроение*, 544.

12) Надыкто В. Т. (2008). Перспективное направление создания комбинированных и широкозахватных МТА. *Тракторы и сельскохозяйственные машины* (3), 26-30.

13) Serrano J. M., Peça J. O., Shahidian S., Nunes M. C., Ribeiro L., Santos F. (2011). Development of a Data Acquisition System to optimizing the Agricultural Tractor Performance. *Journal of Agricultural Science and Technology,* 756-766.

14) Schwanghart H., Rott K. (1984). The influence of the tire tread on the rolling resistance and steering forces on undriven wheels. *In Proc. 8th International Conference of the Society of Terrain Vehicle Systems* (сс. 855-888). Cambridge: UK: ISTVS.

15) Bevly D. M., Gerdes J. S., Parkinson B. W. (2002). A new yaw dynamic model for improved high speed control of a farm tractor. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*(124), 659-667.

Loads and modes of operation of wheeled tractors

Roman Antoshchenkov
Department of Mechatronics and Machine Parts, State Biotechnological University
ORCID 0000-0003-0769-7464

Serhii Bogdanovich
Department of Mechatronics and Machine Parts, State Biotechnological University
ORCID 0000-0002-0527-4102

Ivan Halych
Department of Mechatronics and Machine Parts, State Biotechnological University
ORCID 0000-0002-9137-036X

Halyna Cherevatenko
Department of Mechatronics and Machine Parts, State Biotechnological University
ORCID 0000-0002-8972-3875

Abstract. Tractor operation in agricultural production is characterized by an extraordinary variety of conditions. It was determined that the soil and climatic conditions, the rationality of tractor aggregates, the level of agricultural culture, the condition of roads in the farm, the justification of using tractors for certain jobs, the qualifications of drivers and many other factors have the greatest influence on tractor operation modes. The traction load on the tractor hook is a non-stationary random function of time. It was established that the characteristics of the traction load depend on the composition of the unit, the work performed, the heterogeneity of the physical properties of the soil and the microrelief of the surface of the field or road. The mathematical expectations of the power consumed by the engine when considering the entire complex of agricultural machines $\overline{m}$ (N_d) = 48.75 hp have been determined. For agricultural machines working without power take-off through the power take-off shaft $\overline{m}$ (N_d) = 49 hp. The experimental curve of the distribution of the actual speeds of the aggregates shows that the average speed of machines operating without power take-off through the power take-off shaft is $\overline{m}$ (n_d) = 2.13 m/s (7.7 km/h). It was established that when working with tillage and harvesting machines, the speed does not exceed 3.34 m/s (12 km/h). The average value of the traction force for three series of experimental studies of the Vega-8 planter was P_{sr} = 18 kN. At a movement speed of υ = 1.45 m/s, the range of fluctuations of the traction force of the planter was ΔP = 13269 N, and with an increase in speed to 2.3 m/s, the range of fluctuations of

the traction force increased to 18305 N. The maximum value of the range of 20842 N is observed at speed of 4 m/s.

Key words: tractor, agricultural machinery, engine, power take-off shaft, power, load, speed, operating modes.